

## GONDOLATOK A BALATON IDŐBEN VÁLTOZÓ VÍZHÁZTARTÁSÁRÓL ÉS VÍZSZINTSZABÁLYOZÁSÁRÓL

THOUGHTS ON THE TIME-VARYING WATER BALANCE AND WATER LEVEL CONTROL OF LAKE BALATON

VARGA GYÖRGY<sup>ac</sup> – JAKUS ÁDÁM<sup>bd</sup>

<sup>a</sup>okl. hidrológus, monitoring referens, c. egyetemi docens, Országos Vízügyi Főigazgatóság

<sup>b</sup>okl. környezetkutató, okl. hidrológus, kiemelt műszaki referens, Országos Vízügyi Főigazgatóság

<sup>c</sup>varga.gyorgy@ovf.hu, <sup>d</sup>jakus.adam2@ovf.hu

### Abstract

Lake Balaton is a shallow lake with an average depth of about 3.5 m. The shallow lakes are extremely sensitive to environmental changes in both quantity and quality. The water management processes of the past two decades have provided many warning signals. Above all, as a result of the increasingly extreme weather conditions, unusual and, in any case, extreme conditions of water management have occurred more frequently and to a greater extent. Lake Balaton is a natural lake, but at the same time it is a widely used holiday lake both nationally and internationally. Today, two solutions seem to be appropriate for sustainability. One is to increase bed storage by raising the level of regulation. The other is the quick and safe drainage of the water above the control level in the lake, and the modernization of the drainage system (Sió-sluice, Sió-riverbed)

**Keywords:** shallow lake, increased sensitivity to environmental changes, water balance, water level control, natural water supply change, regulation level increase, drainage system modernization

### Bevezetés

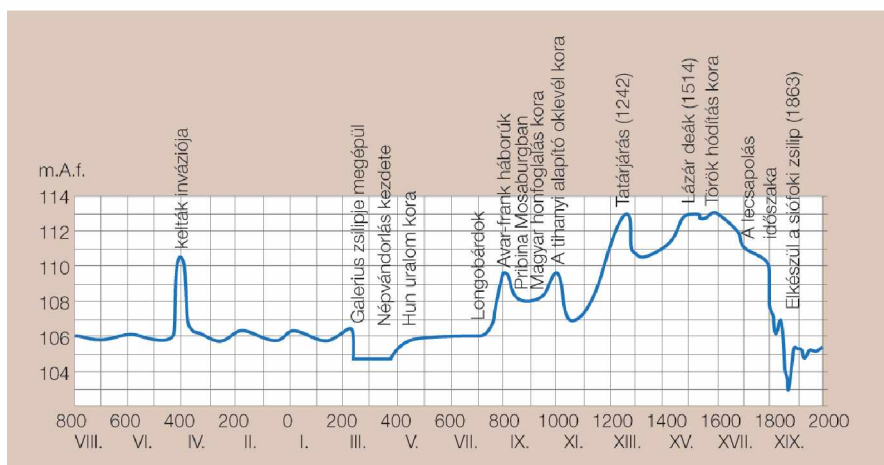
A Balaton és közvetlen környezete – mint kiemelkedő jelentőségű nemzeti kincs – hosszú ideje áll a szakmai és a szélesebb érdeklődő közvélemény figyelmének homlokterében. A tó vízminőség-romlásának megállítása, javítása céljából az elmúlt mintegy négy évtizedben számos – tudományos kutatási eredményekre támaszkodó – döntés történt a vízminőség-védelem és -szabályozás területén. Az utóbbi két-három évtizedben a korábbiaknál gyakrabban és többet hallottunk a tó vízmennyiségével, vízkészletének változásával, vízállásának alakulásával kapcsolatos kérdésekről, amelyeket alapvetően a tó vízháztartását meghatározó természeti tényezők okoztak. A vízháztartási folyamatok jellemzésére kézenfekvő módszer a tó vízforgalmának megismerése, amely a vízforgalomban szerepet játszó vízháztartási tényezők meghatározását és ennek alapján a vízháztartási mérleg összeállítását jelenti.

## A Balaton hosszú idejű vízszintváltozásai

A Balaton napjainkig folyamatosan meglevő, egységesen összefüggő **vízfelülete 6000–8000 éve** alakulhatott ki, vagyis nemcsak földtani, hanem limnológiai értelemben is igen fiatal képződmény (BENDEFY L. 1968). A tó vízháztartását és vízjárását történelmének első, mintegy hétezer éves időszakában kizárólag természeti körülmények befolyásolták. A régészeti kutatások szerint az ember korán megtelepedett a tóparton és a vízszinti-ingadozásoktól függően változtatta településeinek helyét, de a tó életébe nem avatkozott be (1. ábra).

A Balaton fejlődésének második, máig tartó szakaszát az emberi beavatkozások napjainkig tartó következményei jellemzik. Egyes szerzők szerint az avarok (7–8. század) már a vízeltereléseket, mesterséges elöntéseket védőműként alkalmazták. Az első valószínűsíthető beavatkozás Galerius császár idején (3. század) történt, bár a Siófoknál épített Galerius-féle zsilip létezéséről megoszlanak a vélemények. A legenda szerint a tatárdúlás hírére a tihanyiak elzárták a tó természetes lefolyását lehetővé tevő fokot, és a megemelkedett vízszint szigetté formálta a Tihanyi-félszigetet.

A 13. századig a partvonal és a vízszint alakulása lényegesen nem tért el a római kori állapottól. A 14. századtól a 17. századig az éghajlati viszonyok változásának hatására a tó szintje megemelkedett és elérhette a természetes hidrológiai egyensúlyt. A vízgyűjtőn nem történt olyan beavatkozás, amely a tó addigi vízháztartási viszonyait



1. ábra. A Balaton tartós vízállásainak görbéje Kr. e. 800-tól napjainkig (BENDEFY L. 1965 nyomán)

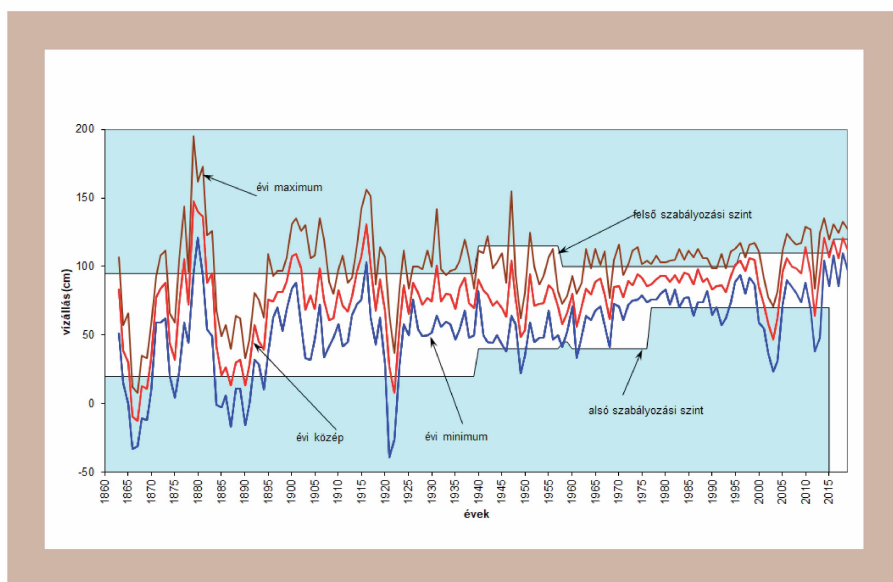
érintette volna. Mintegy 60%-os lehetett az erdős-cserjés terület aránya, a Zala és a déli parti mellékvizek alsó szakasza mocsaras volt, ami sok vizet párologtatott el. A hozzáfolyás csak mintegy fele volt a mainak, ugyanakkor a párolgás a maihoz volt hasonló. Ennek következtében a tóból lefolyás a 14. század végéig csak időszakosan fordult elő. A 15–17. században bekövetkezett csapadékosabb és hűvösebb időjárás hatására nagyobb hozzáfolyás és kisebb párolgás alakult ki, emelkedett a vízállás és gyakoribbá vált, nőtt a lefolyás.

A 18. század elejétől fokozatosan kezdődtek meg azok az **emberi beavatkozások** a vízgyűjtőn és a parton, amelyek befolyással voltak a tó vízháztartására és vízjárására. A vízgyűjtőn végrehajtott, nagy területet érintő erdőirtások hatására megváltoztak a lefolyásviszonyok, a melegebbre fordult időjárás következményeként szélsőségesebb lett a csapadékeloszlás, fokozódott az erózió. A tó vízszintingadozása növekedett, szélsőségesbé vált a vízjárás (MÉSZÁROS E. – SCHWEITZER F. 2002).

1863-ig a Balaton vízállása a maitól merőben eltérő hidrológiai viszonyok között alakult ki. Ezek összefoglalva a következők voltak:

- a vízgyűjtő terület maitól eltérő növényborítottsága és művelése;
- a tavat tápláló vízfolyások szabályozatlansága;
- a Kis-Balaton, a Nagyberék és a Tapolcai-öblözet ősállapota (mocsár, csaknem összefüggő vízborítás);
- a Sió-völgy szűkös vízszállító kapacitása, a vízeresztő zsilip hiánya.

A Balaton vízállásai és vízszintingadozásai 1863-tól a **Siófoki-zsilip és vízmérce** üzembe helyezésétől ismertek. Ezek a vízállások a korábbinál kisebb, de még mindig jelentős vízszint-ingadozásokat mutatnak. A Sió-zsilip többszöri átépítése, a Sió-meder vízlevezető-képességének bővítése lehetővé tette a vízszintszabályozás rendjének fokozatos módosítását, amely a szabályozási sáv fokozatos szűkítését és emelését jelentette. A szabályozási szintek többször változtak, aminek politikai, gazdasági-társadalmi, műszaki és hidrológiai okai is voltak (2. ábra). 2016-ban a vízszint-szabályozási sávot hatályon kívül helyezték, és a tó **szabályozási szintjét 120 cm-ben** állapították meg. Ez azt jelenti, hogy a parti és partközeli területek elöntés elleni védelme céljából a 120 cm feletti vízkészletet a Sió-csatornán levezetik a tóból (BARANYI S. 1980, VIRÁG Á. 1997, 2005).



2. ábra. A Balaton évi minimális, átlagos és maximális vízállásai 1863–2019 között (a VITUKI és a KDTVÍZIG adatsorai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)

## A Balaton vízháztartását meghatározó tényezők időbeli változásainak jellemzése az 1921 utáni időszakban

A Balaton vízháztartásának részletes vizsgálatával először SZESZTAY KÁROLY foglalkozott, aki az 1921–1958 közötti évekre készített havi vízháztartási mérlegeket. Őt megelőzően csupán a vízháztartás egy-egy tényezőjét (párolgás, természetes vízkészletváltozás) vizsgálták. Az 1863–1920 közötti évekre csak a vízeresztést, a vízállásváltozást és ezek összegeként a vízkészlet természetes változását határozták meg. A vízkészlet változásáról az 1921 előtti időszak adatai pontatlanok, azokat vízháztartási mérlegben nem ellenőrizték. Hasonlóan nem megbízhatók a tó párolgására vonatkozó 1921 előtti adatok sem.

A Balaton **vízháztartását** az alábbi egyszerű egyenletekkel írhatjuk le:

$$\Delta K = (C + H) - (P + L + V_h)$$

$$\Delta K_T = C + H - P$$



ahol

- C – a tóra hulló csapadék
- H – hozzáfolyás a tóhoz
- P – párolgás a tó felszínéről
- L – lefolyás (vízeresztés) a Sió-csatornán
- Vh – közvetlen vízhasználat a tóból (a tóból kivett és használat után visszavezetett vízmennyiségének különbsége)
- $\Delta K$  – a tó vízkészlet-változása
- $\Delta K_T$  – a tó természetes vízkészlet-változása

Mindezek alapján 1921 óta rendelkezünk ellenőrzött, megbízhatónak értékelt vízháztartási mérlegekkel a Balatonra, azaz vízháztartási tényezőnként 99 éves idősorok állnak rendelkezésre.

Az 1. táblázatban közölt adatok szerint sokévi átlagban a Balaton a mindenkori vízszint-szabályozási rendhez viszonyított (szabályozott lefolyással) rendelkezik, aminek mennyisége közelítőleg a tóra hulló átlagos évi csapadékmennyiséggel egyezik meg (BARANYI S. 1980, VARGA GY. – JAKUS Á. – KRAVINSZKAJA G. 2019). Sokévi átlagban a hozzáfolyás és a vízmérleg kiadási oldalán legnagyobb súlyú párolgás közelítőleg azonos abszolút értékűek.

Vízháztartási tényező	Minimum		Átlag	Maximum	
	(tómm/év)	év(ek)	(tómm/év)	(tómm/év)	év
Csapadék	309	2011	618	929	2010
Hozzáfolyás	236	2012	848	1974	1965
Párolgás	723	1970	896	1073	1946
Természetes vízkészletváltozás	-281	2012	+570	+2031	1965
Lefolyás (vízeresztés)	0	2001 2003 2004 2012	551	1791	1965
Vízfelhasználás	11	2014 2015	31	51	1989

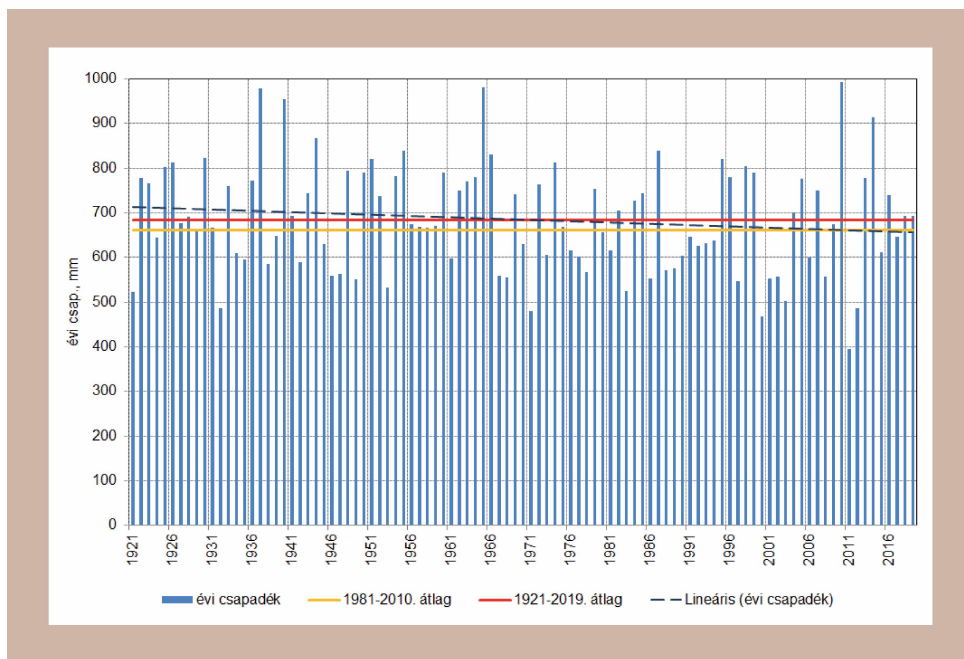
1. táblázat. A Balaton vízháztartási tényezőinek az 1921–2019 közötti időszakra vonatkozó átlag- és szélsőértékei az előfordulás évével (a VITUKI és a KDTVÍZIG adatai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.) Magyarázat: 1 tómm vízoszlop  $\sim 600\,000\text{ m}^3$  vízmennyiség

## A Balaton-vízgyűjtő és a Balaton egyes hidrológiai és hidrometeorológiai paramétereinek hosszú idejű alakulása

### A Balaton-vízgyűjtőre hulló csapadék

A Balaton-vízgyűjtőre hulló évi csapadék mennyiségének meghatározása 25 csapadékmérő állomás mérési adataiból képzett területi átlag alapján történik. A 3. ábrán szemléltetjük a Balaton-vízgyűjtőre hulló csapadék évi területi átlagértékeit. A teljes időszakra (1921–2019) vonatkozó átlag 684 mm/év, a szélsőértékeket két egymást követő évben (!), a minimumot (395 mm) 2011-ben, a maximumot (992 mm) 2010-ben jegyezték fel.

A Balaton vízgyűjtő területére érkező csapadékmennyiség jellemzéséhez a WMO 1983. évi ajánlását alkalmaztuk, ami a meteorológiai paraméterek – évtizedenként továbbléptetett – 30 éves átlagértékeinek alakulása alapján javasolja a hosszú távú változások bemutatását és értékelését. Ennek szemléltetésére állítottuk össze a 2. táblázatot.



3. ábra. A Balaton-vízgyűjtőre hulló csapadék évi összegei 1921–2019 között (az OMSZ adatai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)

Időszak	Átlagos évi csapadékmennyiség (mm/év)
1921–1950	700
1931–1960	701
1941–1970	705
1951–1980	697
1961–1990	672
1971–2000	658
1981–2010	662

2. táblázat. A Balaton vízgyűjtő területére hulló évi csapadék 30 éves átlagértékei (az OMSZ adatsorai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)

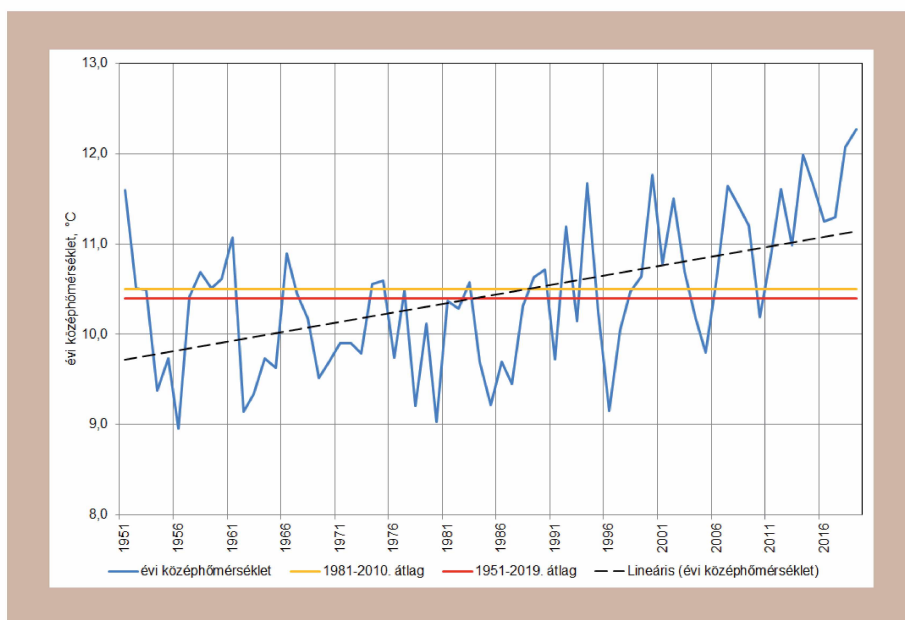
A 3. ábra szerint az 1960 évek közepétől a korábbi időszakokhoz képest nagyobb számban fordultak elő az átlagosnál szárazabb évek. Ez a jelenség a tó vízgyűjtő területén **halmozódó vízhiányt** eredményezett, ami – a hozzáfolyás tartós csökkenésével együtt – kedvezőtlenül befolyásolta a tó vízforgalmát, **tartós vízkészlet- és vízállás-csökkenést** okozott. Külön kiemelésre érdemes a 2000 és 2003 közötti 4 éves időszak. Ekkor a felhalmozódott sokévi átlaghoz viszonyított összegzett csapadékhiány (653 mm) megközelítette az egyéves átlagos csapadékmennyiségnek megfelelő értéket. Ebben az időszakban 1921 óta legszükségesebb deficitesebb vízháztartási helyzet alakult ki a vízgyűjtő és a tó vízforgalmában.

### ***A léghőmérséklet alakulása a Balaton vízgyűjtő területén***

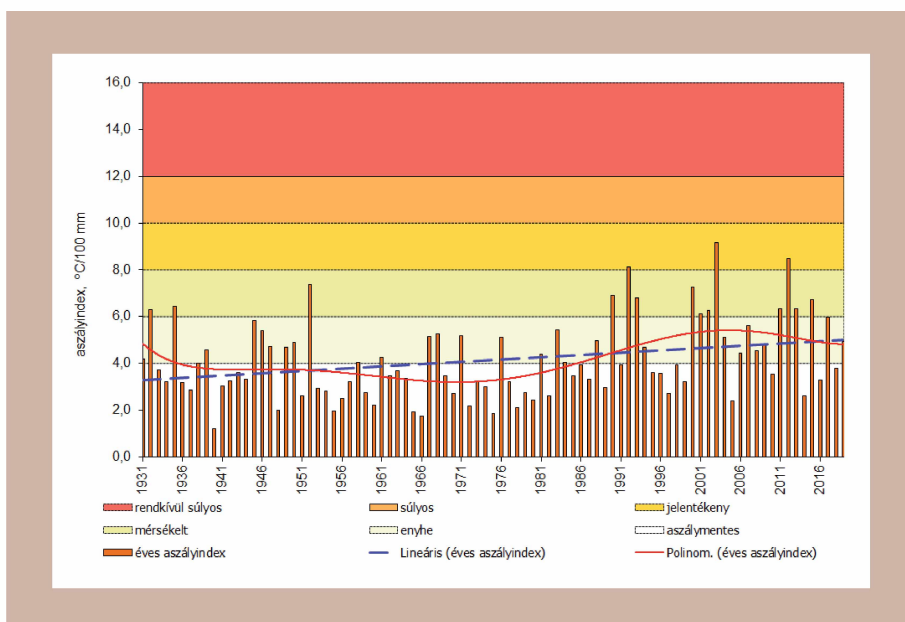
A vízgyűjtő évi középhőmérsékletének alakulását – területi átlagban – 4 állomás adatainak felhasználásával határoztuk meg az 1951–2019 időszakra. A vízgyűjtő sokévi (1951–2019) átlaga 10,4 °C. A vízgyűjtő éves átlaghőmérsékleteinek idősorát és trendjét a 4. ábra mutatja.

### ***A Pálfai-féle aszályindex alakulása a Balaton vízgyűjtő területén***

A Pálfai-féle évi aszályindexnek (PÁLFAI I. 2004) a Balaton-vízgyűjtőre vonatkozó területi átlagát 6 állomás adatainak felhasználásával határoztuk meg. Az 1931–2019 közötti időszakra vonatkozó idősort az 5. ábrán szemléltetjük. Megállapítható, hogy az 1980-as évek közepe óta a korábbi időszaknál nagyobb gyakorisággal fordultak elő enyhe, mérsékelt vagy jelentékeny aszályal jellemezhető évek.



4. ábra. A Balaton-vízgyűjtő éves átlagos léghőmérsékleteinek 1951–2019 közötti időszaka (az OMSZ adatsorai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)



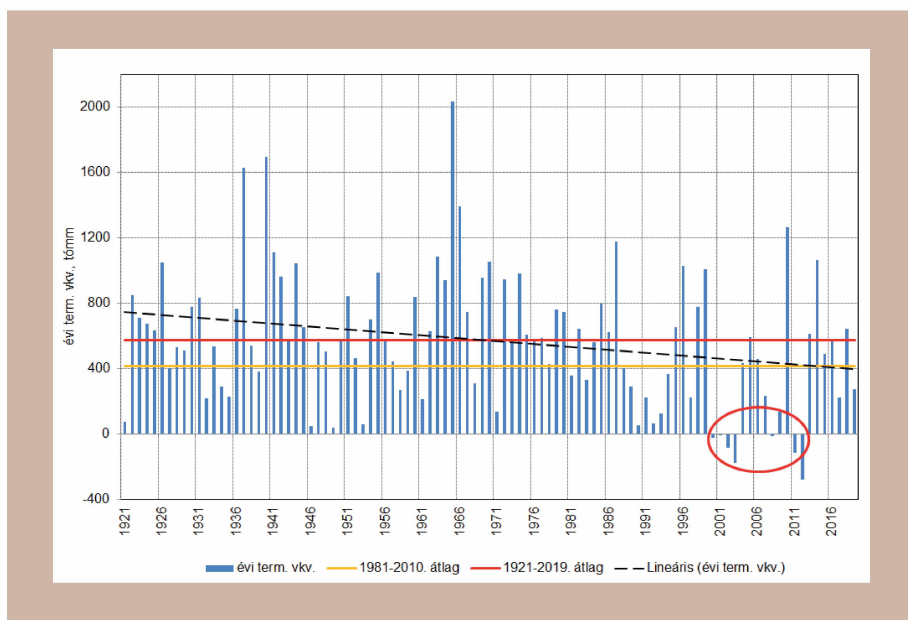
5. ábra. A Pálfai-féle aszályindex évi területi átlaga a Balaton-vízgyűjtőn 1931–2019 között (a VITUKI és a KDTVÍZIG adatsorai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)



## A Balaton természetes vízkészlet-változása

Egy tó vízháztartásában **természetes vízkészlet-változásként** a természeti tényezők által meghatározott vízháztartási tényezők (a Balaton esetében a tóra hulló csapadék, a tóhoz történő hozzáfolyás, valamint a vízfelületről történő párolgás) algebrai összegét értjük. Ez az előbbiek szerint számított mutatószám integráltan jellemzi a tó vízháztartásának alakulását. A 6. ábrán szemléltetjük a Balaton évi természetes vízkészlet-változásának idősorát. Szembetűnő az 1970-es évek közepétől jellemző erőteljes csökkenő irányultság, amely feltűnő hasonlóságot mutat a hozzáfolyás ugyanezen időszakban bekövetkezett változásával.

Kiemelendő tény az is, hogy az 1921–1999 közötti időszakban a természetes vízkészlet-változás évi összegének minden évben pozitív volt az előjele. Ez azt jelenti, hogy a tó vízmérlegében a természetes vízbevétel (csapadék + hozzáfolyás) több volt, mint a természetes kiadás (párolgás) értéke. Ezt követően a 2000 és 2019 közötti 20 éves időszakban 7 (!) olyan év fordult elő, amikor a természetes bevétel kisebb volt, mint a természetes kiadás (KUTICS L. 2015, KRAVINSZKAJA G. 2019).



6. ábra. A Balaton évi természetes vízkészlet-változása mm-ben (a VITUKI és a KDTVÍZIG adatai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)

A Balaton természetes vízkészlet-változásának jellemzéséhez is figyelembe vettük a WMO 1983. évi ajánlását, amely a meteorológiai (és hidrológiai) paraméterek – évtizedenként továbbléptetett – 30 éves átlagértékeinek alakulása alapján javasolja a hosszútávú változások bemutatását és értékelését (3. táblázat).

### A Balaton (szabályozott) lefolyása

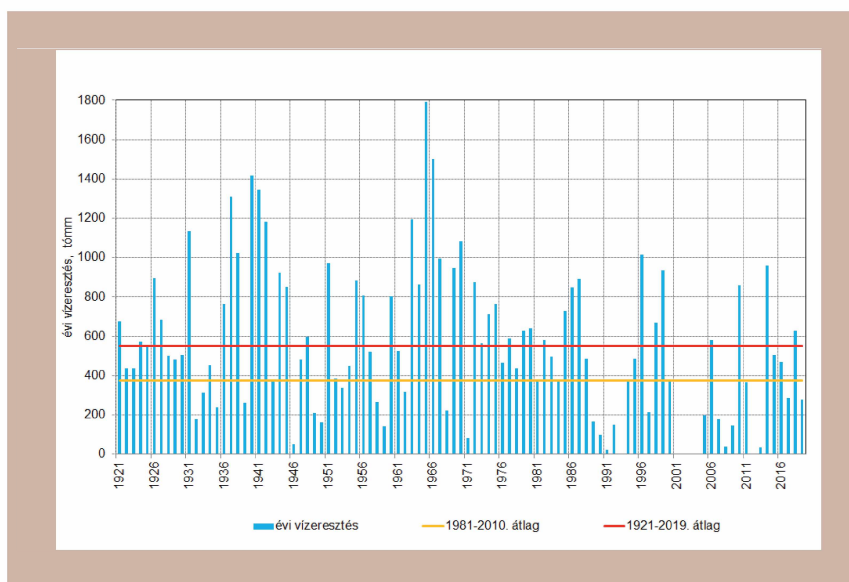
A Balaton vízszintjének (vízkészletének) operatív szabályozása egyetlen helyen, a siófoki zsilipen történő vízeresztéssel valósulhat meg. A Balatonból történő vízeresztés a tó vízforgalmában a legerőteljesebb emberi beavatkozások közé tartozott, amit az érvényben lévő vízszint-szabályozási rend szerint hajtottak végre. A vízszint-szabályozási szintek többször változtak, aminek alapvetően szakmapolitikai, gazdasági-társadalmi, műszaki és hidrológiai okai voltak (SZLÁVIK L. 2005).

1921 óta a legnagyobb többletvíz-készlet levezetésére 1965-ben került sor. A 2000 és 2003 közötti időszakban felhalmozódott vízhiány következtében 2000 májusától 2005 augusztusáig a tóból vízeresztés nem történt (7. ábra).

A szabályozási szint feletti többletvíz-készletek levezetésével végrehajtott vízszint-szabályozásnak természetesen korlátai vannak. A Balaton természetes vízjárásában – a vízforgalmat alapvetően meghatározó hidrometeorológiai és hidrológiai tényezők térben és időben bekövetkező jelentős természetes változékonysága miatt – növekvő számban és időtartamban fordulhatnak elő **szélsőséges állapotok**. Tekintve, hogy a Balaton átlagos hidrometeorológiai és hidrológiai viszonyok esetén természetes lefolyással rendelkező tó, és az évi lefolyás közelítőleg a tóra hulló évi csapadékmennyiséggel

Időszak	Átlagos évi természetes vízkészlet-változás (mm/év)
1921–1950	645
1931–1960	623
1941–1970	698
1951–1980	707
1961–1990	696
1971–2000	532
1981–2010	416

3. táblázat. A Balaton sokévi természetes vízkészlet-változásának átlagértékei (a VITUKI és a KDTVÍZIG adatsorai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)



7. ábra. A Balaton évi (szabályozott) lefolyása mm-ben (a VITUKI és a KDTVÍZIG adatsorai alapján szerk. VARGA GY. – JAKUS Á.)

egyezik meg, mindenképpen szélsőséges vízháztartásúnak értékelhetők azok az évek, amikor nem képződött levezethető vízmennyiség a tóban, illetve ha a vízeresztés sokévi átlagát számottevően meghaladó vízmennyiség levezetésére van szükség.

### Összegzés, előretekintés

A mintegy 3,5 m átlagmélységű Balaton jellegzetes sekély tó. Az ilyen tavak mind mennyiségi, mind minőségi vonatkozásban rendkívül érzékenyek a környezeti változásokra. A mennyiségi érzékenység a vízforgalmat meghatározó vízháztartási tényezők változékonyságában nyilvánul meg, amelyek – egyéb, a vízháztartást érintő emberi beavatkozások mellett – együttesen határozzák meg a tó vízállásának mindenkori alakulását. Az elmúlt két évtized vízháztartási folyamatai számos intő jellel szolgáltak. Elsősorban a szélsőségesebbé váló időjárás hatására gyakrabban és nagyobb mértékben fordultak elő szokatlan, mindenképpen szélsőségesnek nevezhető vízháztartási állapotok.

A Balaton természetes tó, ugyanakkor hazai és nemzetközi értelemben is széles körben hasznosított **üdülőtó**. A fenntarthatóság érdekében, valamint a vízforgalmat meghatározó, térben és időben egyre szélsőségesebbé váló természeti tényezők a tóhasználat szempontjából

kedvezőtlen hatásainak mérséklése érdekében napjainkban két megoldás látszik célravezetőnek. Az egyik a **medertározás növelése**, ami a szabályozási szint közelmúltban történt 10 cm-rel (mintegy 60 millió m<sup>3</sup> vízmennyiség többlettározásával) történő megemelésével valósult meg. Ezzel a beavatkozással – tartós vízhiányos időszakokban – mérsékelni lehet a szélsőségesen alacsony vízállások kialakulását. A szélsőségesen nedves időszakokban – másik megoldásként – a tóban képződő, **szabályozási szint feletti vízkészlet** gyors és károkozás nélküli **levezetésére** van szükség. Ennek érdekében a közelmúltban elkészült a vízlevezető rendszer (Sió-zsilip és Sió-meder) korszerűsítésének szakmai megalapozása és előkészítése. A szükséges kivitelezési munkák végrehajtása megkezdődött.

Mindezekkel párhuzamosan ezen célkitűzések eléréséhez a továbbiakban is szükség van a döntéseket előkészítő folyamatok folyamatos figyelemmel kísérésére, valamint szükséges újraindítani azokat a tudományos igényű és megalapozottságú kutatási programokat, amelyek a vízháztartási folyamatok pontosabb és megbízhatóbb értékelését és – tekintettel az éghajlatváltozásra – előrejelzését szolgálják.

## Irodalom

- BARANYI S. (szerk. 1980): A Balaton kutatása és szabályozása. – VITUKI Közlemények 27. Budapest. pp. 227–252., 311–333.
- BENDEFY L. (1968): A Balaton vízszintjének változásai a neolitikumtól napjainkig. – Hidrológiai Közlöny 48. 6. pp. 257–263.
- KRAVINSZKAJA G. (szerk. 2019): KDT VIZIG (1993...2019): A Balaton vízháztartási mérlegei. – Témajelentés, Siófok.
- KUTICS K. (szerk. 2015): A Balaton vízgyűjtő területének átfogó hidrológiai vizsgálata, különös tekintettel a lefolyási viszonyok drasztikus változására és a hozzáfolyás csökkenésére. – Tervtanulmány. K+F Consulting Kft., Veszprém. pp. 33–49.
- MÉSZÁROS E. – SCHWEITZER F. (szerk. 2002): Föld, víz levegő. Magyar Tudománytár 1. kötet. – Kossuth Kiadó, Budapest. pp. 229–234.
- PÁLFAI I. (2004): Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. – Közlekedési Dokumentációs Kft. pp. 381–388.
- SZLÁVIK L. (szerk. 2005): A Balaton. – Vízügyi Közlemények különszám, Budapest. pp. 93–104.
- VARGA GY. – JAKUS Á. – KRAVINSZKAJA G. (2019): A közelmúltban előfordult hidrometeorológiai szélsőségek hatása a Balaton vízjárására. – Hidrológiai Közlöny 99. 2. pp. 1–13.
- VIRÁG Á. (1997): A Balaton múltja és jelene. – Egri Nyomda Kft. pp. 198–277.
- VIRÁG Á. (2005): A Sió és a Balaton közös története (1055–2005). – Közlekedési és Dokumentációs Kft. Budapest. pp. 415–422.